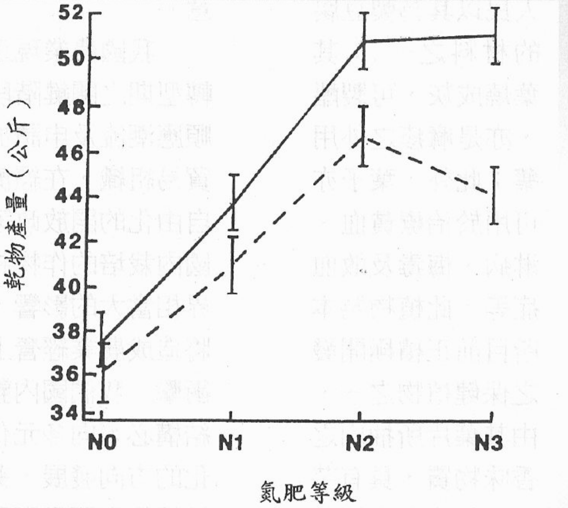
處理平均值間之差異
也可以用圖示表達

◎農試所農藝系　魏夢麗　呂椿棠　呂秀英

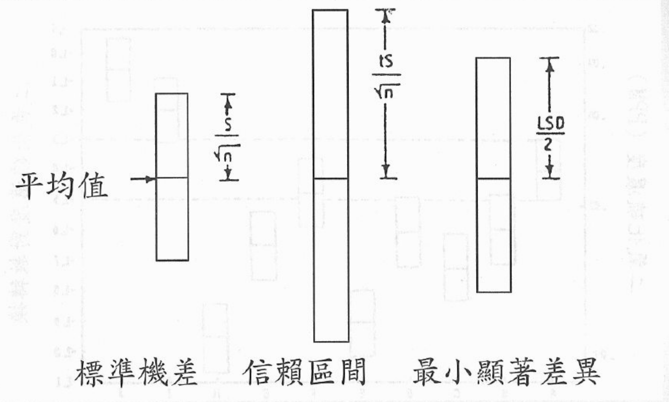


圖一　牧草在兩種不同放牧強度與四種氮肥處理下之乾物產量表現。(實線為高度放牧，虛線為低度放牧；各平均值上之垂直線為95%信賴區間）

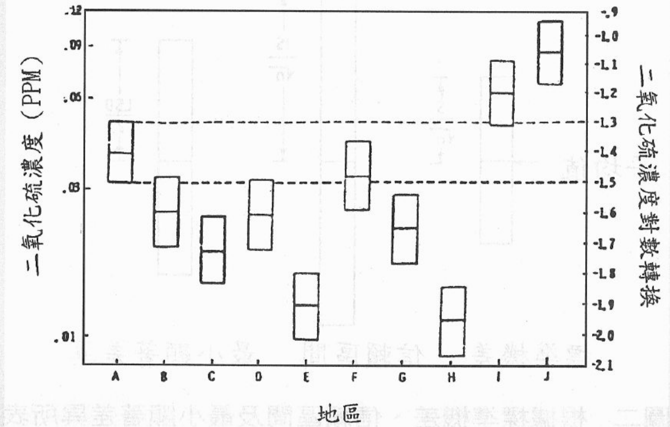
試驗報告發表所要傳達出的訊息不僅是試驗的結果，同時也期望對相關的研究工作能提供更多的資訊，因此當龐大的試驗資料經統計分析後，試驗工作者須特別留意的是如何將資料整理成精簡扼要且明確的訊息給予讀者。為了使敘述的資料簡明而有系統，並增加可讀性，試驗報告除了以文字闡釋結果外，大都輔以表格或圖形。在農業上的試驗大都為評估生物或農作物處理間的差異及對各個影響因子的反應，如肥料施用量試驗，栽培管理方式、病蟲害或氣象因子等對作物產量的影響及各品種對處理間的反應差異；以不同氮肥施用量對玉米產量之影響試驗為例，試驗資料經過統計分析所求出的各種氮肥處理等級下之產量平均值，在進行個別差異顯著性測驗後，將其整理成表格，即可顯示出玉米產量對不同氮肥處理效應的反應差異，但倘若試驗還包含著不同的玉米品種、不同的行株距及不同年度等其他參試處理，則會因為處理項目太多而造成表格過於龐大複雜，不易使讀者一目了然。這時候，利用圖示是唯一可行且明智的作法。如圖一所示之牧草在兩種不同放牧強度與四種不同氮肥處理下之乾物產量表現，圖中橫軸標示各氮肥等級，縱軸則標示乾物產量，垂直於各平均值點上的條形界限是以95%信賴區間來表示出平均值的估計精密度（precision of estimation）；由圖一曲線之變化，可知隨著氮肥量遞增至N2等級，兩種放牧強度之牧草乾物產量均提高，當氮肥增加為N3等級時高度放牧下之牧草產量維持不變，但低度放牧下之牧草產量則明顯降低。由此可知在處理

項目較多的場合，利用圖示確實要比建立多因子之兩向表格可獲致更明確且清晰的訊息，而好的圖示更可讓讀者省去閱讀長篇大論之文章說明。

我們從事研究所得的樣本平均值當作族群平均值的最佳點估計（best point estimation），通常族群平均值未知，如何知道此樣品平均值是否可靠，必須加以探討。換言之，倘試驗報告列出平均值，也應該同時計算平均值的偏性或不確定性（bias or uncertainty），並將其清楚標示出來，以說明樣品平均值的估計精密度。一般在表格及內文中多是以「樣品平均值±不確定性區間」的表達方式來呈現樣品平均值的可靠性。該不確定性區間的意義，因適用場合而異，可以是標準偏差(standard deviation, s.d.)、標準機差(standard error, s.e.)、變異係數(coefficient of variation, CV)、信賴區間(confidence interval, CI)、最小顯著差異(least significant difference, LSD)等。標準偏差(s.d.)表明變值（如產量）取樣分布的變異或分散程度，即各觀測值遠離樣品平均值的差異，等於估計值變方的開方根值；標準機差(s.e.)指的是平均值或其他某種介量(parameter)之估計值的標準偏差，最常用來測量介量估計值的精密度，等於s.d.再除以一個處理觀測值總數之開方根值；CV為s.d.以平均值的百分比來表示，最常用來比較兩個度量單位不同之樣品的變異性；平均值的信賴區間(CI)大多設定95%之信賴水準，表示我們有95%之信心，相信族群平均值會在區間內，而可能尚有5%之信賴區間不包括族群平均值，這種信賴區間的長度為樣品估計值精密度或可靠性之測定值，當變值呈常態分布時，信賴區間的上下限值等於s.e.乘以學生氏(student's)之t分布值；LSD一般用在比較兩處理平均值間的差異比較，必須利用變方分析表中之試驗機差均方(mean square of error, MSE)計算而得。因此試驗報告中倘列有這種「樣品平均值±不確定性區間」時，應該註明其不確定性區間所代表的意義為何，以避免混淆。由於±符號所代表的意義甚多且不盡相同，因此現今很多專家學者及國際知名的農業學術刊物（如Agronomy Journal、Crop Science等）均建議儘量不要採用這種±符號的表示方式，例如3.25±0.322(s.e.) 應寫成3.25 with



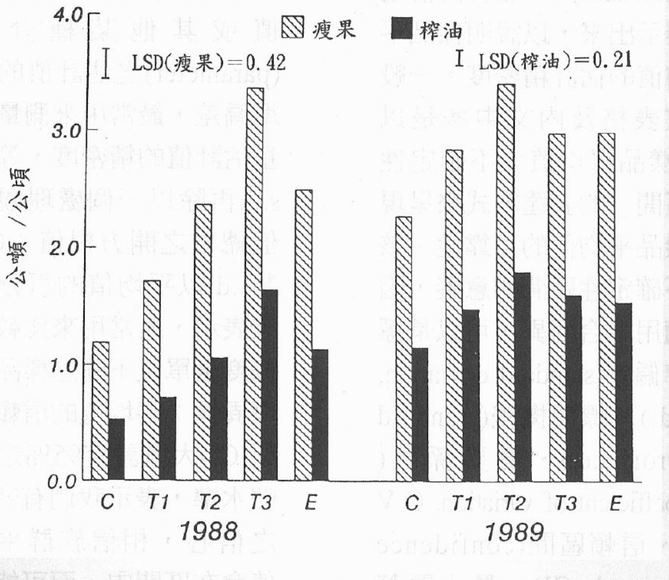
圖二　根據標準機差、信賴區間及最小顯著差異所表示之不確定性區間。



圖三　不同地區二氧化硫(SO_2)空氣品質之差異性比較。（A地區為對照組；資料分析前經過對數轉換；各平均值上之視窗區間為5%LSD值）

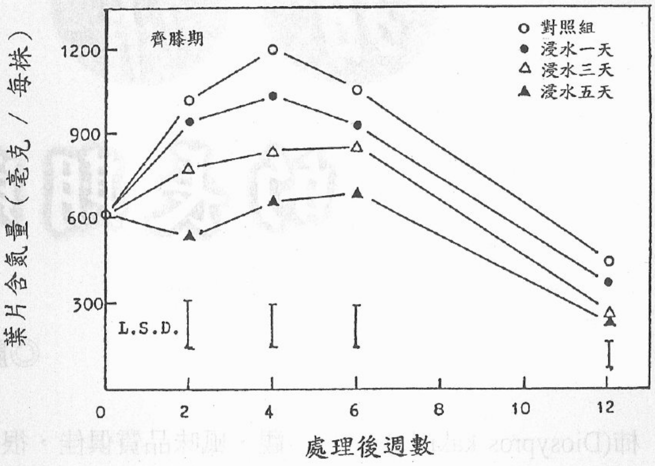
s.e. 0.322 或是3.25, s.e. 0.322。

至於以圖示表達處理平均值之不確定性區間的方式，最常採用平均值的標準機差、信賴區間及最小顯著差異。雖然這三種不確定性區間都能表示各處理平均值的估計精密度，但實際上它們的區間長度上並不相等，如圖二所示，因此在特定意義下若誤用了適當的區間表示，就會影響試驗結論的正確性。不確定性區間的圖形表示方法，可以採用如圖一之區間型或者如圖二之視窗型，沒有強制的規定，端視試驗者的喜好，但仍然必須遵守圖示要清楚美觀的原則。圖示中如含有不確定性區間時，仍應於圖之標題或在註腳內附加說明其所代表的意義為何，以免混淆。各種不確定性區間之中，只有使用LSD才能比較處理平均值之間的差異性，當圖中各平均值之LSD區間沒有重疊時，即表示其差異達到某種顯著水準，由此便很容易立即判別出不同處理平均值間的差異。以圖三為例，各地區二氧化硫之空氣品質與對



圖四　1988年及1989年向日葵瘦果(achene)及榨油(oil)產量在不同灌溉處理下之差異性比較。（C：自然狀態，T1、T2、T3：各灌水一、二、三次，E：灌水至取代100%之作物蒸散作用；LSD區間值設定在5%顯著水準）

照組之A地區比較結果，除了B、D、F、I以外之其他地區皆與A地區有顯著差異；該實例因為是以對數轉換後的資料進行分析，故圖中在縱軸兩邊均各標示出原始尺度(左側)及轉換尺度（右側），當資料經過轉換之統計分析，以如此表示是最適合的作法。在圖三中，我們可以發現所有平均值的LSD區間都是相等長度，這是因為用來比較所有地區平均值的LSD只有一個。為使圖示更為簡化美觀，相同的LSD值也可以只用單一區間來呈現，例如圖四之不同灌溉處理對向日葵瘦果)及榨油產量的影響差異比較試驗，該實例是以長條圖來表現不同灌溉處理間的平均產量差異，不同性狀分開分析，因此不同性狀各有一個LSD區間，以進行不同灌溉處理間的產量差異性比較，倘若各處理平均值之間的差異大於LSD區間值，則表示該等處理之間的差異顯著存在。圖四中以單一LSD區間表示，雖然在視覺上較圖三簡潔，但因為只能比較平均值差異與LSD區間長度之差距，相對於圖三之比較各LSD區間之重疊性，在判斷上似乎略顯遜色，對此建議單一LSD區間在圖中擺放的位置應該儘可能接近縱軸，並且最好其區間某一端點又與縱軸上的刻度標籤對齊，使LSD區間的長度在一瞥之下即能知道。再舉一例說明，如玉米葉片含氮量在不同浸水天數處理後隨時間之變化情形（圖五），試驗者除了從各處理之曲線變化，很容易釐清各處理隨時間的變化趨勢，同時也可以利用各時間點上的LSD區間來檢視同一時間各處理間的差異是否顯著存在。



圖五　玉米葉片含氮量在不同浸水天數處理後隨時間之變化情形。（LSD區間值設定在5%顯著水準）

由上述各例可知，當處理效應的變化趨勢很重要時，圖示的效果優於表格，而在圖示中配合LSD區間亦可充分地呈現出處理平均值之間的差異性，而不一定只能利用在各處理平均值旁標示字母的表格來表達。試驗報告的撰寫是要讓讀者能容易地從圖文中瞭解整個試驗的結果，而不是長篇大論或是圖表花俏，與其以表格列舉大量資料，卻無法讓讀者一窺即了然於心，反倒不如利用適當的圖示，從一張圖即能正確而立即地表達出各處理平均值的估計精密度及不同處理間的差異性，將使試驗結果的判讀更為容易。